

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra výrobních strojů a konstruování**

# **Optimalizace sportovní koloběžky**

## **Sport Scooter Optimization**

**Student:**

**David Petrovič**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

**Ostrava 2014**

## Zadání bakalářské práce

Student: **David Petrovič**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**  
Specializace: **21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení**  
Téma: **Optimalizace sportovní koloběžky  
Sport Scooter Optimization**

### Zásady pro vypracování:

S cílem zvýšit mobilitu proveďte konstrukční optimalizaci sportovní koloběžky MIBO. Zpracujte rešerši týkající se konstrukčního řešení sportovních koloběžek. Optimalizujte vybraný typ koloběžky s ohledem na snížení její hmotnosti a zvýšení skladnosti. Vlastní konstrukční řešení porovnejte s původním - srovnání doložte výpočtovou kontrolou vybraných konstrukčních uzlů. Zpracujte výkresovou dokumentaci (rozsah upřesní vedoucí práce).

### Seznam doporučené odborné literatury:

KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8  
KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3  
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8  
LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry

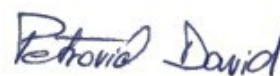


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 14. 5. 2014

Handwritten signature of Petr David in blue ink.

.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D, za profesionální přístup při řešení této práce a dále také panu Břetislavu Michálkovi, majiteli společnosti MIBO SCOOTERS s.r.o., za vstřícnost a nadšení v tomto oboru. V neposlední řadě také své rodině za neutuchající podporu při studiích.

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 14. 5. 2014



.....  
podpis studenta

### Adresa trvalého pobytu:

Beskydská 1711  
738 01, Frýdek-Místek

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PETROVIČ, D. *Optimalizace sportovní koloběžky*, Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2014, 50 stran. Bakalářská práce, Vedoucí: Kubín, T.

Cílem bakalářské práce je navrhnout konstrukční optimalizaci sportovní koloběžky MIBO. Je zde porovnáno současné konstrukční řešení rámu s konkurenčními modely a analyzovány prostory pro zlepšení. Hlavními oblastmi optimalizace jsou vyřešení současných kritických míst, zvýšení skladnosti a snížení váhy. V práci je také navrženo vlastní konstrukční řešení koloběžky, které je k současnému modelu porovnáno v oblastech pracovního zatížení, principu skládání rámu, váhy a náročnosti na výrobu.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PETROVIČ, D. *Sport Scooter Optimization*. Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2014, 50 pages. Bachelor Thesis, Supervised by: Kubín, T.

The main objective of this bachelor thesis is to propose a design optimization concept for MIBO sport scooter. The current design is compared to competition and the possibilities to improve this current model are analyzed. The main focus is to solve critical points, increase compactness and reduce weight. Own design is also introduced, which is then compared to the existing model in terms of performance, folding mechanism, weight and manufacturing demands.

## Seznam použitých značek a symbolů

F	Zatížení	[N]
T	Napětí	[MPa]
h	Výška	[m]
k	Součinitel bezpečnosti	[ul]
l	Délka	[m]
m	Hmotnost	[kg]
n	Nosnost	[kg]
t	Tloušťka	[mm]
HMH	Hypotéza (Huber, von Mises, Hencky	
MKP	Metoda konečných prvků	

## **Obsah**

Úvod.....	9
1. Rešerše historie, trendů a konstrukčních řešení koloběžek .....	10
1.1 Historie.....	10
1.2 Využití koloběžek .....	10
1.3 Trendy koloběhu .....	11
1.4 Konstrukční řešení sportovních koloběžek .....	12
2. Optimalizace modelu MIBO Mastr Classic .....	15
2.1 Srovnání konkurenčních modelů .....	15
2.2 Optimalizace - řešení kritického místa podlahy.....	18
2.3 Optimalizace – mechanismus skládání .....	25
2.4 Optimalizace – váha.....	29
3. Konstrukční návrh vlastního rámu .....	33
3.1 Cíl a použití.....	34
3.2 Konstrukční řešení a použité profily .....	35
3.3 MKP analýza.....	38
3.4 Kritické uzly .....	40
3.5 Zhodnocení výsledků MKP analýzy .....	41
4. Závěr .....	43
Seznam použité literatury.....	44
Seznam obrázků .....	47
Seznam tabulek .....	49
Přílohy.....	50



## Úvod

Trend aktivního používání koloběžek se v dnešní době stále rozšiřuje a tato oblast zájmu přestává být pouze dominantou dětí. V této práci si představíme cestu, kterou koloběžka, jakožto dopravní prostředek, absolvovala až do dnešních dnů a různé formy, ve kterých dnes můžeme koloběžky naléznout.

Detailněji se zaměřím na skládací model sportovní koloběžky Mastr Classic společnosti MIBO SCOOTERS s.r.o., který porovnám ke konkurenčním modelům na tuzemském trhu a navrhu způsoby optimalizace v oblastech konstrukčního řešení, skladnosti a váhy. Také provedu řešení problému s praskáním rámu, který se několikrát vyskytl při intenzivním zatížení rámu. Doporučení k optimalizaci jsou uvedeny u každého zmíněného aspektu a shrnuty v závěru.

Nedílnou součástí této práce je také vlastní konstrukční návrh koloběžky. Čerpal jsem z poznatků, zjištěných při analýze dostupných modelů koloběžek, a z dlouholetých zkušeností společnosti MIBO, která se výrobou koloběžek zabývá již od roku 1998.

Osobně jsem měl možnost poprvé se setkat a aktivně využít sportovní koloběžku v létě roku 2013, kdy jsme s kolegou při cestě po Evropě projeli autem přes 20 velkých evropských měst v 10 zemích. Rozhodnutí vzít s sebou koloběžky a tyto města na nich projet dodalo našemu cestování zcela jiný rozměr a umožnilo nám během pár hodin procestovat každé město, aniž bychom byli vyčerpaní z chůze. To byl také důvod pokračovat ve spolupráci a zaměřit tuto práci tímto směrem.

## **1. Rešerše historie, trendů a konstrukčních řešení koloběžek**

### **1.1 Historie**

Historie koloběžek sahá více než 100 let zpět, kdy se v residenčních částech měst začaly objevovat. Jejich první vynálezy můžeme připisovat dětem, jež jsou schopné vymyslet v podstatě cokoliv, jen aby se měly čím zabavit. První „na koleně vyráběné“ modely byly pouze kolečka z bruslí připevněné na prkně, přičemž jednoduchá dřevěná krabice sloužila k zatáčení pomocí naklánění. (**obr. 1.1**)



**Obr. 1.1** – První koloběžky [12]

**Obr. 1.2** – Novější model s malými koly [11]

Vzhledem k celodřevěné konstrukci a velmi jednoduchým kolečkům, které už v té době byly opatřeny základními ocelovými kuličkovými ložisky, koloběžka při jízdě vydávala hlasitý zvuk, podobně jako opravdová vozidla. Největšímu zájmu se posléze těšily koloběžky se dvěma malými koly, podobnými těm jízdním, pouze jen o dost menším (**obr. 1.2**). S rozmachem jízdních kol však koloběžky na určitou dobu upadly v zapomnění a trvalo dlouhá léta, než se znovu začaly objevovat v častějším měřítku [11], [12].

### **1.2 Využití koloběžek**

Koloběžky znovu získaly určitou pozornost v 90. letech minulého století, kdy se v hodně obydlených částech měst staly výhodnějším, rychlejším a také skladnějším prostředkem pro dopravu. Dnešní děti jen málokdy nepřijdou do styku s jednoduchými modely skládacích koloběžek a díky novým technologiím jsou koloběžky lehké, odolné a velmi snadné na údržbu. Mezi aktivními, zejména mladými lidmi získávají na oblibě

právě díky jednoduchosti a vhodnosti využití v městech, kde na vzdálenosti, které jsou zdlouhavé pro chůzi, ale krátké pro použití kola, získávají výhodu. Taktéž možnost složit koloběžku a vzít ji např. s sebou do budovy je velmi vítaná, namísto nutnosti nechat kolo před budovou.

### 1.3 Trendy koloběhu

V dnešním světě již nejsou koloběžky pouze záležitostí dětí, ale získávají uznání i v dalších oblastech. Nejen již zmiňované městské využití, ale díky vynálezu sportovně laděných koloběžek, které využívají velkého předního kola a menšího zadního se koloběžky využívají i pro ryze sportovní účely. Tento styl se stal známým a probíhají závody a turnaje po celém světě, jmenovitě „Footbike Eurocup“ – mistrovství Evropy v závodu koloběžek a „Footbike World Championship“ – mistrovství světa.



**Obr. 1.3** – Footbike World Championship [6]

U nás se toto odvětví rozvíjelo již v Československu od 70. let v Rožnově pod Radhoštěm, jako významná složka suchého letního tréninku lyžařů běžců. Dalším častým využitím koloběžek je akrobatická jízda (Stunts), podobně jako na kolečkových bruslích, BMX kolech, či skateboardech. Tyto typy koloběžek jsou opatřeny malými plnými koly (syntetika, guma), jsou velmi lehké a odolné. Jsou tedy určeny především na rampy a speciální skateparky, kde je na nich možné předvádět různé efektní triky. (obr. 1.4)



**Obr. 1.4** – Stunt Scooter [3]

## 1.4 Konstrukční řešení sportovních koloběžek

Koloběžky lze rozdělit do několika hlavních kategorií, ve kterých je můžeme nalézt ve sportovních a specializovaných prodejnách.

### Koloběžky pro děti

Většinou se jedná o koloběžky s malými plnými koly (cca 120mm průměru) a pro nejmenší děti jsou i modely se třemi koly. Vyrobeny jsou nejčastěji z hliníku, nebo v kombinaci hliníku a plastu. (obr. 1.5)



**Obr. 1.5** – Dětská koloběžka a koloběžka se třemi koly [3]

### Turistické/Volnočasové koloběžky

Modely určené do města, na turistiku a každodenní použití. Bývají s různými velikostmi kol podle potřeby a zájmu. Důraz je kladen na jednoduchou údržbu a univerzálnost. Konstrukčně jsou řešeny především z oceli a z lehčených odolných slitin. (obr. 1.6)



**Obr. 1.6** – Turistická koloběžka KOSTKA HILL [2]

### Terénní koloběžky

Zde se jedná o koloběžky určené hlavně do terénu, na sjezdy a závodní sjezdové účely. Tyto koloběžky bývají vybaveny silným ocelovým rámem, velkými koly a většinou i odpruženou přední vidlicí spolu s kotoučovými brzdami. (**obr. 1.7**)



**Obr. 1.7** – Terénní koloběžka MIBO Dextro [1]

### Silniční koloběžky

Obdoba silničních modelů jízdních kol. Odlehčený rám a velké úzkoprofilové kola zajišťují ideální výkon na silnicích a zpevněných komunikacích. (**obr. 1.8**)



**Obr. 1.8** – Silniční koloběžka KICK BIKE Race Max 20 [6]

### Koloběžky pro mushing

V dnešní době rozšiřující se trend jízdy na kole/koloběžce spolu s venčením svého psího mazlíčka. Jedná se v podstatě o jakoukoliv koloběžku (převážně však turistické modely) s úpravou pro držení vodítka, aby se nezamotalo do kol (**obr. 1.9**).

Také se v tomto směru konají závody připomínající závody sněžných saní tažených psi. Tyto koloběžky však již mají lépe vyřešený tažný systém (**obr. 1.10**).



**Obr. 1.9** – Koloběžka Kostka Mushing Max [2]



**Obr. 1.10** – Mushing v akci [20]

## **2. Optimalizace modelu MIBO Mastr Classic**

### **Cíl optimalizace**

S cílem vylepšit parametry a jízdní vlastnosti modelu MIBO Mastr Classic provedu porovnání s konkurencí, analyzuji prostory pro zlepšení a navrhnu řešení.

### **2.1 Srovnání konkurenčních modelů**

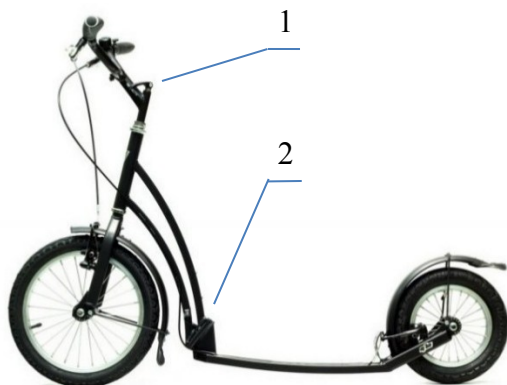
V oblasti profesionálních sportovních koloběžek je na tuzemském trhu několik výrobců kvalitních modelů. Jedná se o společnosti MIBO, Kostka, KICKBIKE a Micro. Nejširší sortiment a největší zastoupení mají společnosti MIBO a Kostka.

Pro účely porovnání je popsáno konstrukční řešení koloběžky MIBO Mastr Classic, kterou se budu v této práci nejvíce zabývat, a podobný konkurenční model společnosti Kostka.

#### **MIBO Scooters – Mastr Classic**

Skládací verze sportovní koloběžky společnosti MIBO. Jedná se o verzi s kloubem, umožňující složení koloběžky na rozměry vhodné k přenášení. Právě tato přednost umožňuje dobré využití ve městech a také na výletech, jelikož koloběžku můžeme pohodlně složit do kufru auta, aniž by zabírala spoustu prostoru. Tato verze Classic přichází s 16“ předním a 12,5“ zadním kolem. Většinu nosných prvků tvoří obdélníkové a oválné ocelové profily. Díky použití plochého obdélníkového profilu v podlaze koloběžky není nezbytně nutné použití plechu pro stání. Tenký plech je ovšem použit pro komfortnější stání a jako designový doplněk. (**obr. 2.1**)

V provozním stavu je délka koloběžky  $l=1300\text{mm}$  a výška řídítek až  $h=940\text{mm}$ . Použitím speciálního kloubu je možné pod úhlem složit koloběžku na velice praktické rozměry  $1050\times500\times250\text{mm}$  (**obr. 2.2**). Váha koloběžky se základním vybavením je  $m=9\text{kg}$ . Model je určen dětem od 6 let a dospělým do výšky  $200\text{cm}$  s dimenzovanou nosností  $n=150\text{kg}$ . [1]



**Obr. 2.1** – MIBO Mastr Classic [1]



**Obr. 2.2** – MIBO Mastr Classic složený [1]

Složení koloběžky probíhá následujícím způsobem:

- Povolíme rychloupínací mechanismus řídítek (**obr. 2.1**, bod 1)
- Povolíme kloubový mechanismus na spodním rámu koloběžky (**obr. 2.1**, bod 2)
- Plně vysuneme a vyjmeme řídítka
- Složíme rám koloběžky a zafixujeme rám k sobě pomocí pásky na suchý zip
- Přiložíme řídítka a můžeme celou složenou koloběžku vložit do tašky na přenášení

**Tab. 2.1** – Technické parametry MIBO Mastr Classic [1]

**MIBO MASTR CLASSIC**

<b>DÉLKA</b>	1300 mm
<b>ŠÍŘKA</b>	600 mm
<b>VÝŠKA ŘÍDÍTEK</b>	880 - 940 mm
<b>SLOŽENÝ ROZMĚR</b>	1050x500x250 mm
<b>VÝŠKA NÁŠLAPU</b>	50 mm
<b>VÁHA</b>	9 kg
<b>NOSNOST</b>	150 kg
<b>RÁM</b>	Ocelový skládací (ocelová řídítka)
<b>PŘEDNÍ KOLO</b>	16" Alu 24
<b>ZADNÍ KOLO</b>	12 1/2" Alu 24
<b>PNEU (KENDA)</b>	Přední 16x1,75 a zadní 12,5x2,25
<b>BRZDY</b>	Shimano Alivio V-brzdy
<b>DOPLŇKY</b>	Gelová madla, ocelové blatníky, zvonek
<b>CENA</b>	7990,00 Kč vč. DPH



**KOSTKA – REBEL FOLD**

Pro porovnání jsem vybral model REBEL FOLD, který je skládací a v podobné cenové relaci, jako je model MIBO Mastr Classic. Hlavním rozdílem je řešení rámu koloběžky, který společnost Kostka volí z trubkových profilů, namísto obdélníkových, jako je tomu u společnosti MIBO. Rám je podstatně jednodušší, mající pouze jednu trubku jako nosný prvek mezi přední vidlicí a podlahou. Podlaha je svařena z šesti trubek a je použit plech pro stání. (obr. 2.3)

Koloběžka je již od pohledu dimenzována pro minimalistické rozměry a je vybavena sadou kol 16“ a 12“. Skládání probíhá pomocí speciálního kloubu sklopením řídítek v ose X-Y podél koloběžky. Ve složeném stavu jsou rozměry koloběžky 1200x640x220mm (obr. 2.4). Nosnost tohoto modelu je  $n=120\text{kg}$  a váha celé koloběžky  $m=5,8\text{kg}$ . [2]



Obr. 2.3 – Kostka REBEL FOLD [2]



Obr. 2.4 Kostka REBEL FOLD složený [2]

Tab. 2.2 – Technické parametry Kostra REBEL FOLD [2]

**KOSTKA REBEL FOLD**

<b>DÉLKA</b>	1200 mm
<b>ŠÍŘKA</b>	590 mm
<b>VÝŠKA ŘÍDÍTEK</b>	910 mm
<b>SLOŽENÝ ROZMĚR</b>	1200x640x220 mm
<b>VÝŠKA NÁŠLAPU</b>	60 mm
<b>VÁHA</b>	5,8 kg
<b>NOSNOST</b>	120 kg
<b>RÁM</b>	Ocelový
<b>PŘEDNÍ KOLO</b>	16"
<b>ZADNÍ KOLO</b>	12,5"
<b>PNEU (KENDA)</b>	Schwalbe Big Apple
<b>BRZDY</b>	PROMAX V-brzdy
<b>DOPLŇKY</b>	Brašna, Gelová madla, zvonek
<b>CENA</b>	9100,00 Kč vč. DPH

### Porovnání

Model společnosti Kostka disponuje velkou výhodou v parametru váhy, která je u modelu k přenášení jedním z klíčových aspektů. Taktéž složení je jednodušší a rychlejší, avšak není tak kompaktní. Model má spíše minimalistické tvary a je předurčen k městskému použití. Použitím trubkových profilů lze dosáhnout nižší hmotnosti, ovšem tyto profily jsou pružnější a při zatížení tedy celý rám více pruží.

Model Mastr Classic společnosti MIBO je laděný sportovněji. Má pevnější rám a vyšší tuhost, což jej vybízí k použití i na nepevných terénech. Stylem složení uspoří více místa např. v autě, či komoře bytu, avšak skládání je pracnější. Koloběžka je také těžší. V základní výbavě je ovšem o více než 1100,- Kč levnější.

V tabulce parametrů Tab. 2.1 a Tab. 2.2 jsou uvedeny detailní parametry a výbava jednotlivých modelů.

### Prostory k optimalizaci stávajícího rámu:

- Řešení kritického místa podlahy
- Mechanismus skládání
- Úspora váhy

## **2.2 Optimalizace - řešení kritického místa podlahy**

Zkušenosti z praktického používání poukázaly na problém praskání podlahy při intenzivním zatížení, což způsobilo nevratné poškození koloběžky. Prasknutí podlahy v případě rychlé jízdy v terénu by také mohlo být velmi nebezpečné pro jezdce. (**obr. 2.5**)



**Obr. 2.5** – Kritické místo vzniku lomu podlahy

Hlavním cílem zde bude analýza daného uzlu a jeho možné konstrukční řešení. Pro vytvoření modelů a následnou analýzu metodou konečných prvků (MKP) byl použit software Autodesk Inventor 2013.

Celkový rám je možné rozdělit do 3 svařených sestav:

- Vidlice
- Přední část (od řídítek po kloub skládání)
- Spodní část (od kloubu, přes podlahu, k zadnímu uchycení kola)



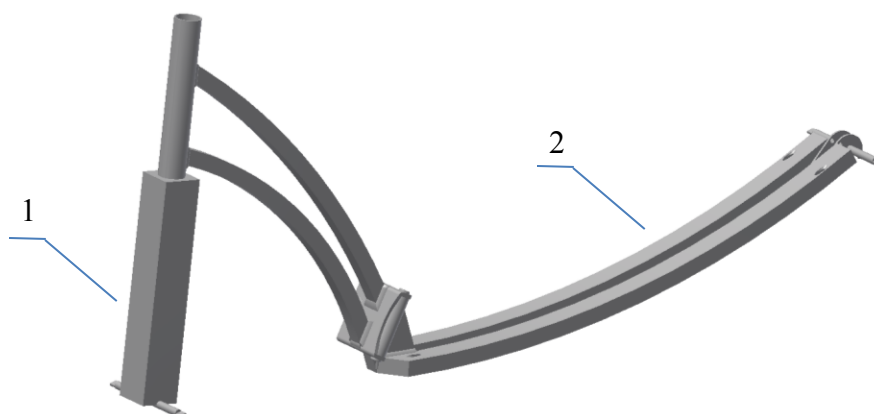
**Obr. 2.6** – Vidlice, přední část, spodní část MIBO Mastr Classic



**Obr. 2.7** – Celková sestava rámu

Je známo kritické místo, kde se vyskytl problém lomu podlahy, proto je vhodné celou sestavu co možná nejvíce zjednodušit. Docílíme tím přesnějších výsledků a rychlejšího výpočtu, protože software nebude muset počítat průběhy napětí ve všech místech a vrubech. Také je vhodné odstranit veškeré nepotřebné komponenty a prvky, které neovlivňují dané místo.

Zjednodušená sestava pro kontrolu kritického místa vypadá takto:



**Obr. 2.8** – Zjednodušená sestava

Přední vidlici jsem nahradil jednoduchou podporou (1), aby byly zachovány vzdálenosti, a podlahu jsem vytvořil z jednoho profilu (2) – vyhnul jsem se tak zbytečným vrubům a komplikacím MKP analýzy. (**obr. 2.8**)

## **MKP analýza**

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhu napětí, deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla, či tekutin atp. na vytvořeném fyzikálním modelu. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků a určení parametrů v jednotlivých daných uzlech [21]. Pro účely této práce jsem využil software Autodesk Inventor 2013.

### **Okrajové podmínky**

Pro simulaci co nejvěrnějších podmínek při reálném používání jsem definovali okrajové podmínky:

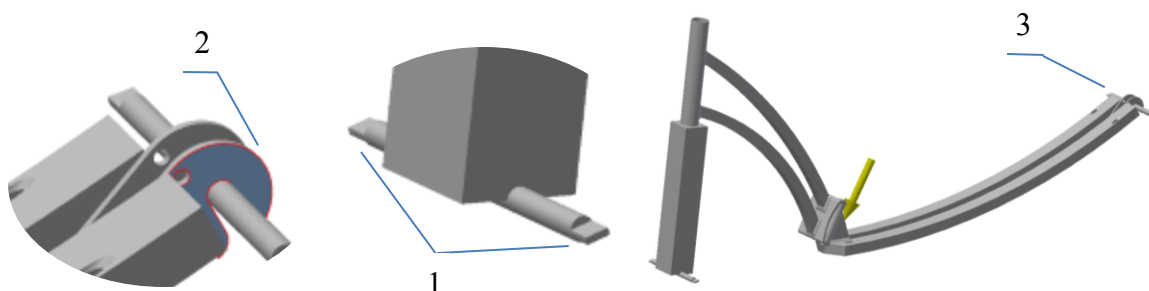
#### Materiál

Jelikož se jedná o ocelovou konstrukci, přiřadil jsem ocel ke všem komponentům.

#### Kontaktní vazby (Constraints)

Na **obr. 2.9** můžeme vidět použití kontaktních vazeb “Frictionless” na plošky čepu předního kola (1), což umožní posuv čepu v této rovině a také reálnou deformaci rámu při naklopení přední vidlice. Stejná vazba je použita na zadní úchyt čepu z důvodu ustavení

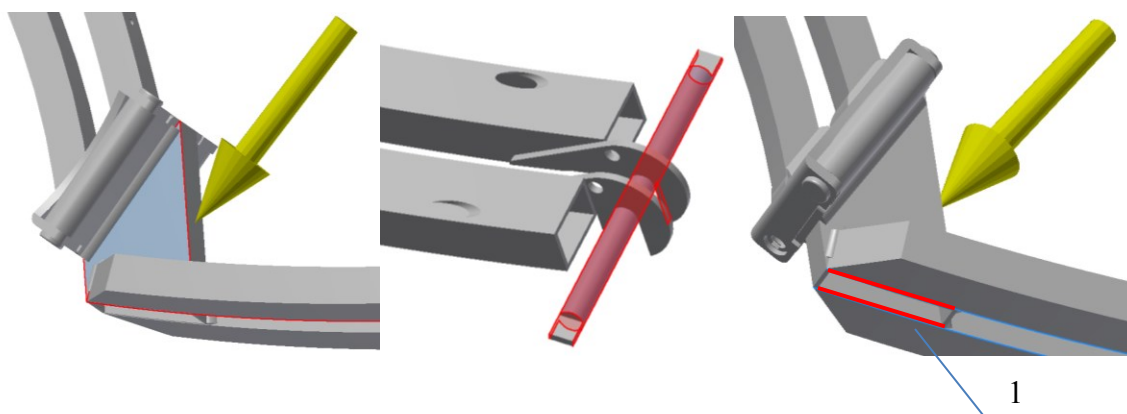
modelu v rovině při MKP analýze (2). Na zadní čep je použita vazba “Fixed”, která jej ustaví na místě bez možnosti pohybu (3).



**Obr. 2.9** – Kontaktní vazby s detaily

### Kontakty (Contacts)

Ke správnému chování ploch, jež se vzájemně dotýkají, je nutné nastavit správné kontakty mezi nimi. Pro většinu ploch, které jsou spolu neoddělitelně spojeny, je použitý kontakt “Bonded” a pro plochy (jako u spoje kloubu s podlahou, který je reálně spojen pouze svary) je použito kontaktu “Separation”, tedy oddělení. Stejného kontaktu je využito u doteku čepů s úchyty a vidlicemi. (**obr. 2.10**)



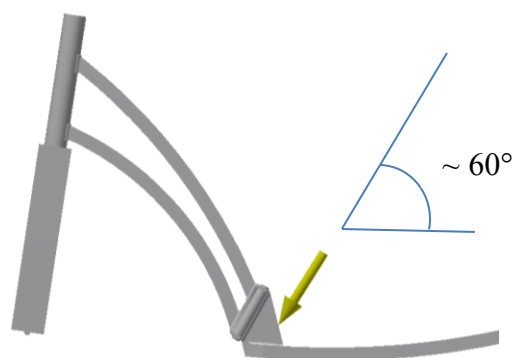
**Obr. 2.10** – Použité kontakty „Separation“

Pro simulování podélného svaru ze spodní podlahy jsem použil manuální kontakt “Bonded” umístěného na hrany (**obr. 2.10**, bod 1).

### Zatížení (Loads)

Koloběžka je dimenzována na nosnost  $n=150$  kg, přičemž použitý software (Autodesk Inventor 2013) nám umožní simulovat pouze statické zatížení. Při jízdě na takovéto koloběžce vznikají dynamické rázy a spolu s tím také nutné uvažovat bezpečnost rámu. Pro tuto analýzu je tedy zatížení definováno na  $F=3000\text{N}$ , což je ekvivalentem 300kg. Zatížení gravitační silou zanedbávám, jelikož je zahrnuta v naddimenzovém zatížení.

Použil jsem vektorového zadání síly pro získání úhlu cca  $60^\circ$  (**obr. 2.11**), což je přibližný úhel výslednice vznikající při rázových zatíženích při jízdě (např. skok z patníku, či výmol). Síla  $F$  byla zacílena na plochu kloubu k získání přesnějšího zatížení kritického místa. Při umístění síly na profily podlahy je totiž síla rozložena rovnoměrně po celé délce podlahy, přičemž tomu ve skutečnosti takto není.



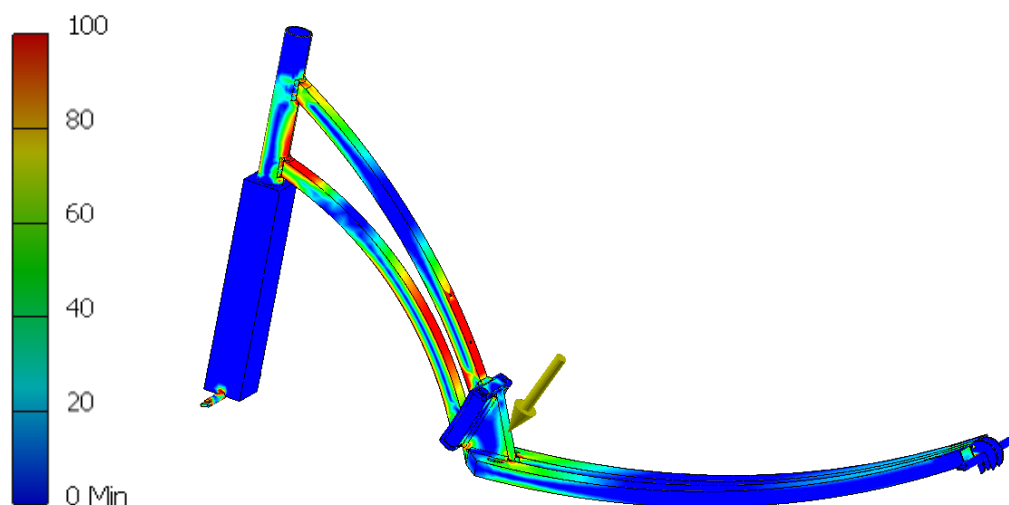
**Obr. 2.11** – Zatížení rámu při MKP analýze

### Nastavení sítě (Mesh)

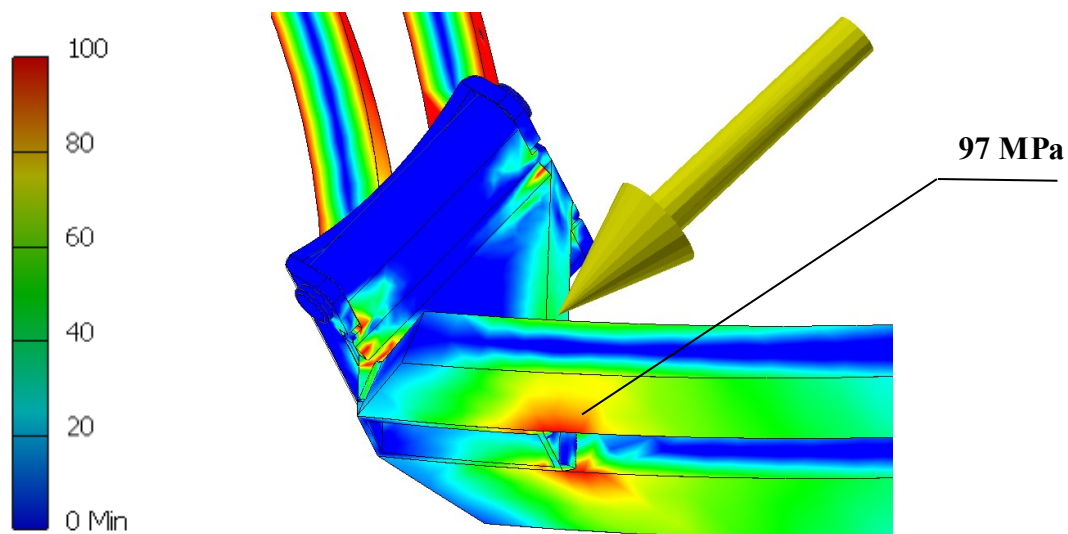
Nastavené sítě dává možnost nastavení velikostí elementů, do kterých je každá část modelu rozložena při výpočtu. Ponecháno automaticky, neboť hustota sítě vyhovuje.

## Výsledky analýzy

### Redukované napětí (Von Mises Stress)



**Obr. 2.12** – Výsledné redukované napětí



**Obr. 2.13** – Detail na kritické místo

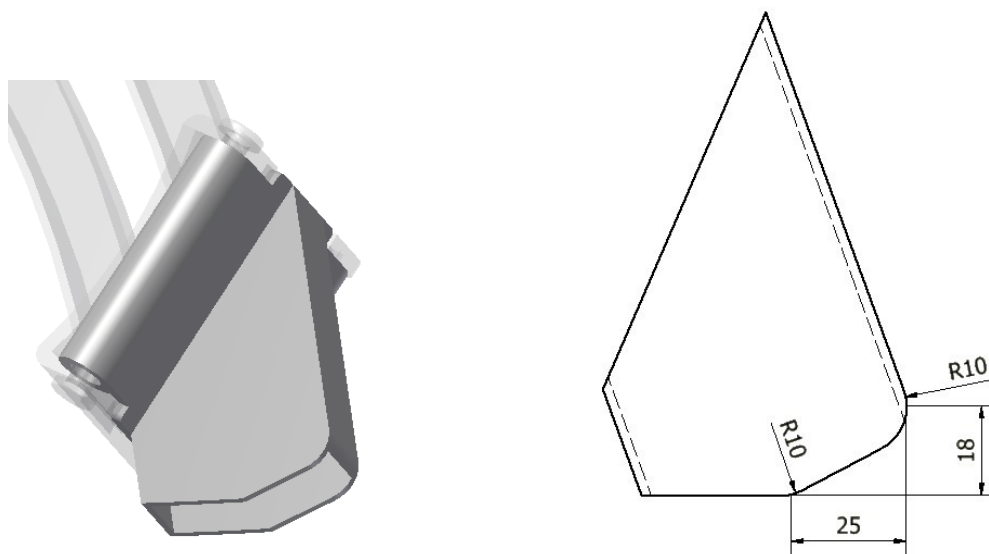
Zde můžeme vidět průběh zatížení dle hypotézy HMM. Pro lepší názornost byla barevná stupnice zatížení snížena na hodnotu 100MPa a na **obr. 3.13** můžeme vidět detail kritického místa. Napětí v tomto místě dosahuje hodnoty 97MPa.

Jak vyplývá i z analýzy, v místě napojení profilu kloubu a podlahy vzniká koncentrace napětí. Toto místo je navíc teplečně ovlivněno svařem a další vrub je vytvořen při svařování, jelikož v tomto místě je oblouk uhašen a znovu zapálen. Svařovací proud je při zápalu oblouku nestálý a negativně ovlivňuje strukturu materiálu. Tyto vlivy, ve spojení s dynamickým rázovým zatížením, vedou ke vzniku únavového lomu.

### Konstrukční řešení kritického místa

Vzhledem k dostupným prostředkům jsem zvážil několik variant – vzpěry, výztuhy, plátování a jiné. Bylo ovšem nutné přihlédnout k náročnosti konstrukční úpravy a její nákladovost. Nejjednodušším a nejefektivnějším řešením se stalo vyhnutí se kritickému místu pomocí zkosení. (**obr. 2.14**)

Konstrukční úprava uzlu vypadá následovně:

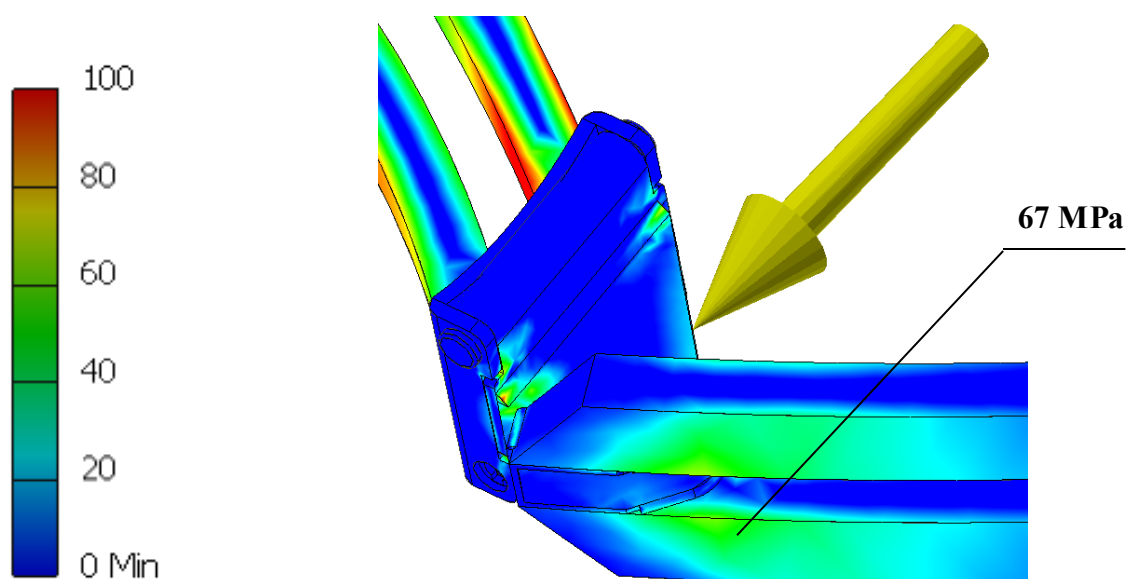


**Obr. 2.14** – Konstrukční úprava profilu

Tímto jednoduchým zkosením se vyhneme ostrému lomu v kritickém místě a jeho tepelnému ovlivnění. Úprava samotná je velmi jednoduchá a nenákladná – jedná se o zkosení profilu (seříznutí na pile) a zabroušení ostrých hran např. na stolní brusce. Také je nutné svařovat tento spoj v kuse bez přerušení. Nynější zkosení umožní svařit dané místo bez nutnosti nového zápalu právě v bodě lomu.



Při MKP kontrole s naprosto stejnými podmínkami se upravené místo chová takto:



**Obr. 2.13** – Redukované napětí v kritickém místě po konstrukční úpravě

Maximální napětí v kritickém místě je nyní  $T=67\text{MPa}$ , což je 35% snížení oproti původní variantě. Bezpečnost v daném místě vychází  $k=3,1$ .

## 2.3 Optimalizace – mechanismus skládání

Sportovních koloběžek umožňujících složení do kompaktnějšího tvaru není na trhu mnoho. Pojí se s tím totiž spousta konstrukčních komplikací počínaje stylem skládání a konče pevností rámu. Většina skládacích modelů jsou koloběžky pro děti, popřípadě levné hliníkové modely z Asie.

### Metody skládání konkurenčních modelů

Průzkumem dostupných skládacích modelů jsem objevil tyto metody skládání:

#### Kostka REBEL FOLD

Nízky styl rámu s vysokými skládacími řídítky. Je použit speciální kloub z hliníkové slitiny umožňující složení řídítek o  $180^\circ$  v ose X-Y. Skládání je rychlé a jednoduché, koloběžka však zmenšuje pouze výškový rozměr a délka zůstává stejná. Složené rozměry tedy jsou  $1200 \times 640 \times 220\text{mm}$  a váha  $m=5,8\text{kg}$ .



**Obr. 2.15** – Kostka REBEL FOLD a detail na kloub skládání [2]

### Koloběžky Micro

Městský typ koloběžky určený pro jednoduchou jízdu a přibližování se na kratší vzdálenosti. Designem připomíná většinu jednoduchých dětských koloběžek, je však vyrobena z kvalitních materiálů a nabízí plná kolečka s průměrem 200mm. Skládání probíhá pomocí rychloupínacího šroubu a horní část k řídítkům lze složit o 90° dolů k podlaze. Stejně tak jsou sklopitelná madla (**obr 2.16**, model White). Složení je rychlé a po složení získáme příjemné kompaktní rozměry 730x330mm. Váha je  $m=4,7\text{kg}$ .



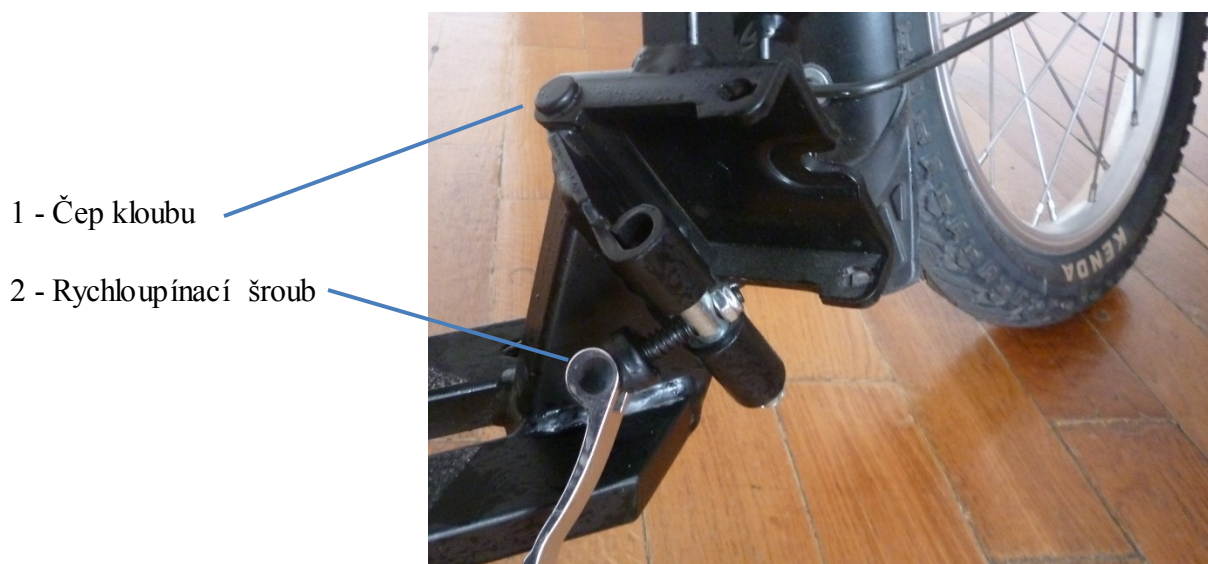
**Obr. 2.16** – MICRO White a složená verze [3]

## Koloběžky MIBO

Skládací modely koloběžek MIBO využívají metodu kloubu nakloněného pod úhlem, což je patent společnosti MIBO. Kloub samotný je řešený jednoduše pomocí čepu, ale vzhledem k jeho umístění musí být stěna dostatečně silná kvůli pevnosti. Zafixování probíhá pomocí rychloupínacího šroubu. Složení je pracnější než u předchozích stylů skládání a je nutné vyjmout řídítka, která se přiloží do tašky na přenášení. Koloběžka se díky tomuto způsobu skládání dostane na rozměry 1050x500x250mm, přičemž váha koloběžky je  $m=9\text{kg}$ .



Obr. 2.17 – MIBO Mastr Classic a složená verze [1]



Obr. 2.18 – MIBO Mastr Classic – detail kloubu skládání

## Aplikovatelnost konkurenčních typů skládání

Při drobných délkových úpravách a konstrukční úpravě kloubu je teoreticky možné využít metodu skládání použitou u koloběžky Micro (viz **obr. 2.16**). S takovou to úpravou by složený model Mastr Classic vypadal následovně (**obr. 2.19**) a měl přibližné rozměry 1100x900x130mm (pro nejlepší šířkovou kompaktnost uvažujeme povolení a otočení řídítek do svislého směru, popřípadě vyjmutí, což není na obrázku znázorněno):



**Obr. 2.19** – MIBO Mastr Classic při teoretickém složení stylu MICRO

*U návrhu vlastního rámu (kapitola 3.) jsem tento typ skládání také zvážil a porovnal.*

Použití sklopení řídítek, jako u modelu firmy Kostka – kolobka (**obr. 2.15**), by vyžadovalo úpravu přední části rámu (především trubky držící řídítka), použití jiného modelu řídítek a vytvoření vlastního speciálního kloubu, jelikož ten současný na modelu REBEL FOLD je patentován firmou Kostka – kolobka.

## Vhodné skládání

V dnešní době se designeři nových produktů snaží o kompaktnost a doby masivních pevných rámu jsou již minulostí. Život ve městě dokonce požaduje co nejmenší rozměry, aby bylo možné koloběžky, či kola vhodně uskladnit a přenášet. S tímto trendem jdou i nové modely skládacích kol. Největším neskladným komponentem jsou vždy kola. Vše ostatní, od řídítek počínaje až po rám samotný, lze nějakým způsobem složit, či zmenšit. Proto je snaha dostat kola i rám přes sebe, jakoby do dvou vrstev. Jak můžeme vidět na obrázku (**obr. 2.20**), takto dimenzované kolo je velice skladné.



**Obr. 2.20** – Skládací kolo RANK Regalia model 2012 a složená verze [8]

Tímto směrem se ubírá i společnost MIBO, jejíž skládací modely letmo připomínají tyto skládací kola. U koloběžek je však rozdílný koncept rámu a nutnost mít podlahu v jednom kuse z důvodu zatížení. Skládání modelů MIBO umožňuje toto složení rámu přes sebe a v dimenzi sportovních koloběžek s velkými koly tak představuje metodu blízkou ideálnímu složení.

S těmito poznatky navrhuji zachování stávajícího mechanismu skládání modelů MIBO bez jakýchkoliv úprav.

## **2.4 Optimalizace – váha**

Při pohledu na dostupné sportovní koloběžky jsem zjistil, že většina výrobců používá k výrobě rámu oceli. Pouze městské koloběžky s plnými koly jsou vyrobeny z profilů hliníkových slitin. Toto zjištění se dá jednoduše vysvětlit pomocí parametrů materiálu:

### **Porovnání materiálů**

Jednotlivé výhody v porovnání oceli k duralu:

Ocel je nejdostupnějším průmyslovým materiálem. Je dostupná v široké škále normalizovaných profilů, je levnější a snáze opracovatelná. Je svařitelná mnoha způsoby bez nutnosti speciálních úprav. Má lepší schopnost tlumit rázy a pružit.

Hlavní výhodou duralu je jeho pevnost a váha. Snadno se obrábí, je chemicky odolný a dá se velmi dobře povrchově upravit.

Při diskuzi s majitelem společnosti MIBO jsem zjistil, že i výrobci používající hliníkových slitin teď často přecházejí na ocelové profily a to hlavně z důvodu spolehlivosti. Koloběžky, a především ty sportovní a určené do terénu, jsou vystaveny dynamickému rázovému zatížení a dural, kvůli malé anelasticitě, nemá schopnost dostatečně dobře tlumit a pohlcovat rázy. U jízdních kol je toto kompenzováno použitím širokého profilu, což je ovšem v oblasti koloběžek špatně aplikovatelné. Použití hliníkových slitin by mohlo být úspěšně proveditelné u silničních modelů koloběžek, jejichž definované použití předurčuje menší počet a sílu rázů a pozvolnější zatížení, než je tomu u turistických a terénních modelů.

### **Srovnání váhové a cenové náročnosti ocelového profilu s profilem z hliníkové slitiny o stejných rozměrech:**

**Tab. 2.3 a 2.4 – Porovnání obdélníkových profilů z duralu a z oceli [cena/hmotnost] [9], [10]**

<b>Ocel</b>	<b>11373/S235JRH</b>	<b>Dural</b>	<b>EN 573-3 AW 6060</b>
<b>Profil [mm]</b>	30x20x2	<b>Profil [mm]</b>	30x20x2
<b>Hmotnost [kg/m]</b>	1,404	<b>Hmotnost [kg/m]</b>	0,51
<b>Cena [Kč/m]</b>	22,46	<b>Cena [Kč/kg]</b>	120

Je potřeba si všimnout faktu, že cena duralu je uvedena v Kč/kg (jak standardně katalogy uvádějí), ocel pak Kč/m profilu. Standardně jsou dodávány 6 metrové profily:

<p><b><u>Ocel:</u></b></p> <p>Váha: 6[m] * 1,404[kg/m] = <u>8,424 kg</u></p> <p>Cena: 6[m] * 22,46[Kč/m] = <u>134,76 Kč</u></p>	<p><b><u>Dural:</u></b></p> <p>Váha: 6[m] * 0,51[kg/m] = <u>3,06 kg</u></p> <p>Cena: 120[kč/kg] * 3,06[kg] = <u>367,2 Kč</u></p>
---	--

Váha ocelového rámu bez řídítek, kol a doplňků:	<b>5,2 Kg</b>
Váha duralového rámu bez řídítek, kol a doplňků:	<b>1,95 Kg</b>
Sestavení celé koloběžky s ocelovým rámem, tj. s koly a doplňky:	<b>9 Kg</b>
Sestavení celé koloběžky s duralovým rámem, tj. s koly a doplňky:	<b>5,6 Kg</b>

**Hmotnostní rozdíl 37,8%.** (Autodesk Inventor 2013)

## **Snížení tloušťky stěny současných profilů**

Současný obdélníkový profil použitý v podlaze má tloušťku stěny 2mm. Snížením tloušťky na 1,5mm dojde ke snížení hmotnosti koloběžky o 326g (163g jeden profil dané délky – v podlaze jsou použity dva).

MKP analýza ztenčeného profilu ukazuje redukované napětí v největším průhybu podlahy 54MPa, kdežto při 2mm tloušťky stěny je to 41MPa.

Ze zkušeností výrobce s touto optimalizací známe informaci, že ztenčený profil, ačkoliv pevnostně vyhovuje, více pruží, což není optimální stav. MKP analýza prokázala průhyb podlahy o 1,7mm (1,4mm neztenčený), nicméně toto zatížení je statické a při dynamických rázech bude znatelně vyšší, z čehož vyplývá, že tloušťka stěny by se neměla snižovat.

## **Doporučení**

Při dimenzování silniční závodní koloběžky je vhodné použít hliníkové slitiny pro snížení hmotnosti více než o třetinu. Pro turistické modely však nedoporučuji měnit materiál. Snižování tloušťky stěny při současné konstrukci nedoporučuji.

Změnu materiálu u modelu MIBO Mastr Classic nedoporučuji hlavně z důvodů cenových a pevnostních a z důvodu náročnosti na technologii výroby. Provedl jsem zde jednoduché srovnání stejných profilů různých materiálů, nicméně pokud by došlo k použití, bylo by nutné rám zátěžově zkontrolovat a s největší pravděpodobností zvýšit šířku stěny u verze z hliníkových slitin.

Hliníkové slitiny je navíc nutné svařovat pomocí metody MIG (Metal Inert Gas), nebo TIG (Tungsten Inert Gas). Argon, jakožto ochranný plyn použitý při svařování hliníku, je podstatně dražší, nežli CO<sub>2</sub> při svařování oceli. U těchto slitin je také někdy nutný předehřev materiálu pro vytvoření kvalitního spoje (dle tloušťky spojovaných profilů).

Vzhledem k tomu, že společnost MIBO prozatím touto technologií nedisponuje, nedoporučuji zavádět tuto inovaci.

## **Shrnutí optimalizací**

### 1) Lom podlahy

Únavový lom je způsoben dynamickým zatížením a místo je tepelně ovlivněno svařem. Řešením je konstrukční úprava zkosením profilu a svařováním uzlu bez přerušení.

### 2) Mechanismus skládání

Porovnal jsem principy skládání jiných typů koloběžek, zhodnotil úsporu místa při jejich použití pro model MIBO Mastr Classic. Vzhledem k nutným úpravám v porovnání k úspoře místa doporučuji zachovat nynější způsob skládání.

### 3) Snížení hmotnosti

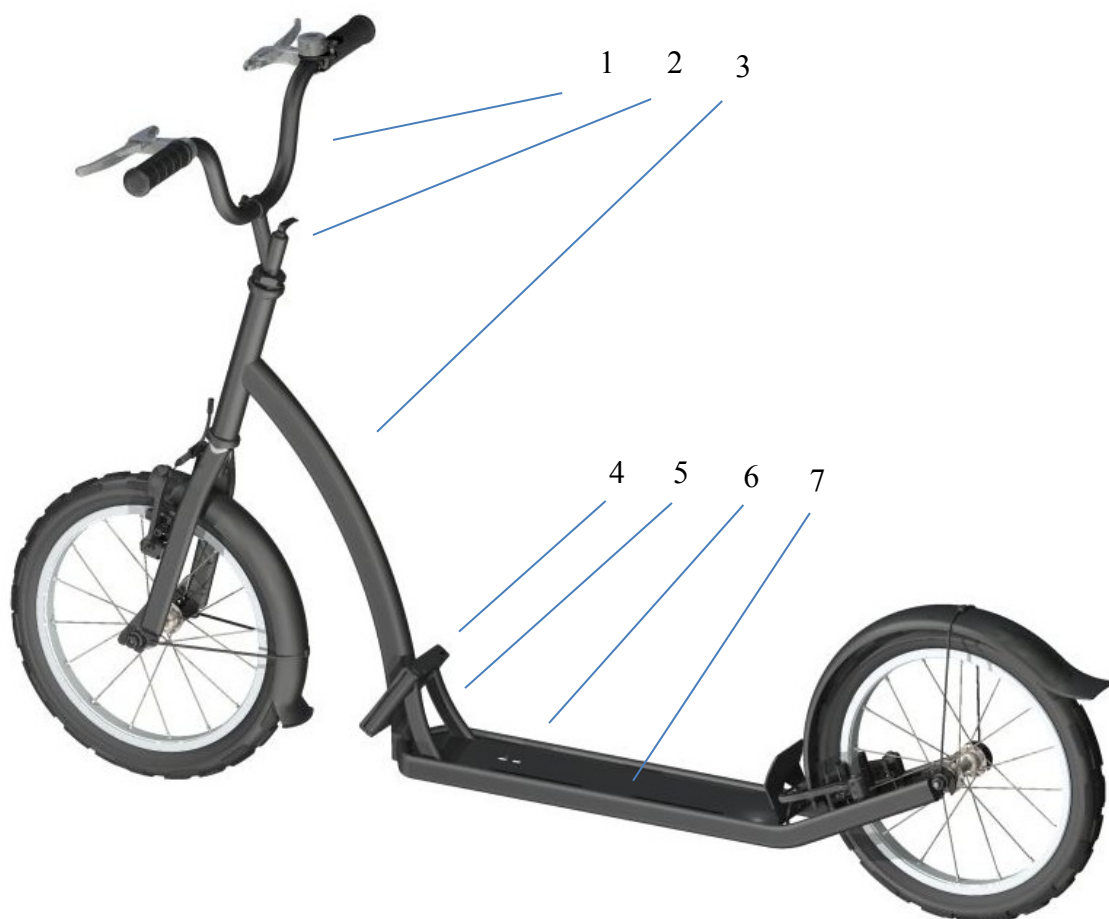
Zvážil jsem snížení tloušťky profilů rámu a také změnu materiálu. Z daných výsledků analýzy a z dostupných zkušeností výrobce nedoporučuji měnit materiál, ani snižovat tloušťku profilů, pokud nedojde ke změně konstrukce rámu. Hlavním důvodem jsou cenové a technologická náročnosti úprav, přičemž zlepšení není tak razantní.



### 3. Konstrukční návrh vlastního rámu

V předchozích kapitolách jsem popsal konstrukční řešení dostupných koloběžek, blíže rozebral řešení modelu MIBO Mastr Classic a vyřešil jsem kritické místo zapříčínující lom podlahy. Také jsem zvážil možnost změny typu skládacího mechanismu a použitého materiálu rámu.

Nyní zde představím vlastní návrh skládacího rámu sportovní koloběžky a jeho detaily. Vycházel jsem z moderních stylů sportovních designů a jako hlavní nosné prvky jsem použil oválné ocelové profily. Koloběžka je určena především na turistické a terénní aktivity, avšak použití ve městech není vyloučeno. Tento design také přichází se zcela novým konceptem řešení podlahy. *(Návrh je vykreslen bez svarů, jelikož software má problém s propojením ploch ve složitých spojích)*



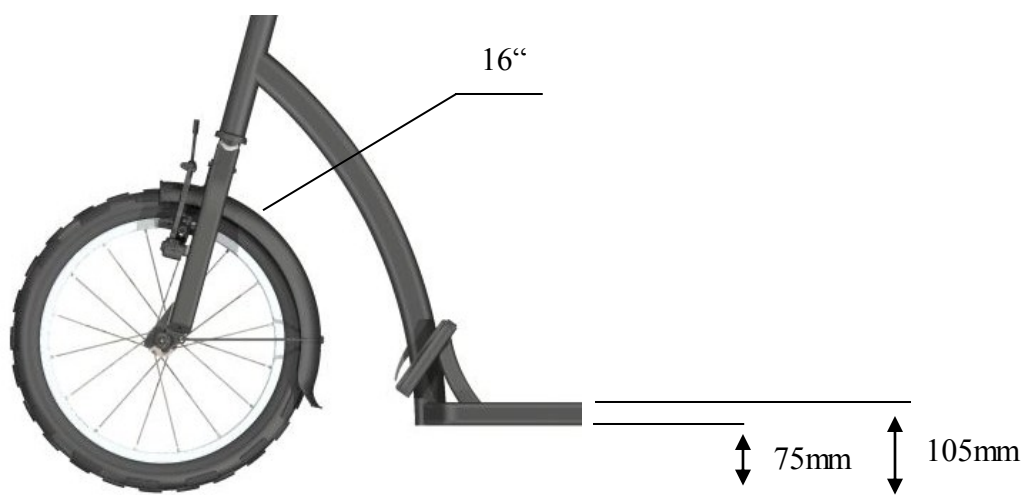
**Obr. 3.1** – Návrh vlastního konstrukčního řešení

1 – řídítka s vybavením; 2 – rychloupínací šroub řídítek; 3 – hlavní přední nosný profil;  
4 – kloub skládání; 5 – kloubové vzpěry; 6 – podlaha; 7 – hlavní plech podlahy;

### 3.1 Cíl a použití

Prvotní myšlenou designu bylo vytvoření sjezdové koloběžky, jelikož společnost MIBO zapůjčuje koloběžky k volnočasovým aktivitám a do půjčoven na horách (nejblíže k nám na horském středisku Pustevny – Moravskoslezské Beskydy). Zde mají turisté možnost vyjít na horu a cestu zpět absolvovat s větší dávkou adrenalinu na zapůjčené sportovní koloběžce. Koloběžky jsou pak dole naloženy do auta a vyvezeny zpět nahoru [13].

Při městském využívání koloběžek se klade hlavní důraz na světlost nášlapu podlahy – tzn. aby podlaha byla co nejnižší (**obr. 3.2**). Je to především z důvodu komfortu, jelikož při vysokém nášlapu musí jezdec dělat velký pohyb nahoru a dolů (podobně jako dřepy na jedné noze) a brzy přichází únava. Nicméně snížení výšky nášlapu s sebou nese potřebu rovného povrchu. Při nerovnostech (obrubník, větší zvlnění, výmoly) pak člověk může lehce dřít podlahou o zem. U sjezdu se ovšem není nutné tolik odrážet a prostředí napovídá spíše k výmolům a kamenům. Tudíž je původní podlaha tohoto rámu dimenzována výše a velikost obou kol je volena 16" (**obr. 3.2**). Jednoduchými konstrukčními úpravami lze ovšem i tento model dimenzovat na komfortnější použití s níže položenou podlahou a menším kolem vzadu.

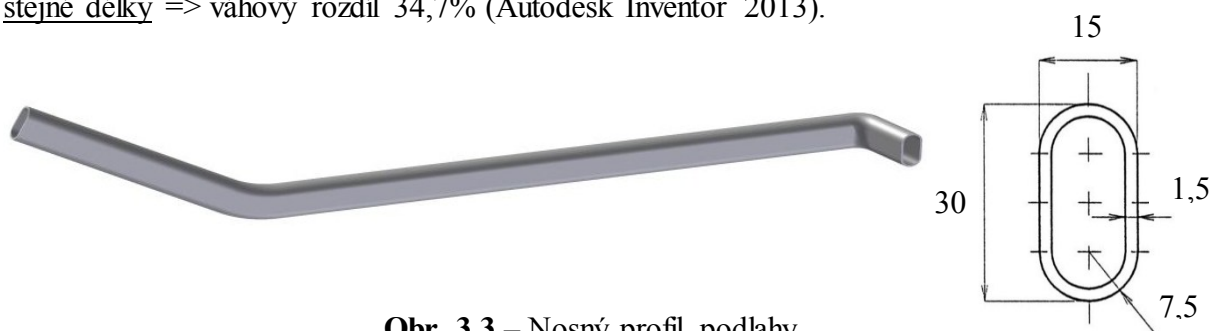


**Obr. 3.2** – Světlost nášlapu

### 3.2 Konstrukční řešení a použité profily

#### Použité profily

Další změnou je využití oválného profilu (plochovál 30x15x1,5mm) po celé délce podlahy (obr. 3.1, bod 6), až k zadnímu kolu. Nosný prvek je z jednoho dílu vytvarován pomocí ohybů, což umožní vyhnout se častým svarům a tedy i vrubům, snižujícím pevnost (obr. 3.3). Ovál v této pozici má lepší pevnostní vlastnosti v ohybu, nežli obdélník, a je lehčí – současný profil podlahy (obdélník 30x15x2) oproti oválu (30x15x1,5) stejně délky => váhový rozdíl 34,7% (Autodesk Inventor 2013).



Obr. 3.3 – Nosný profil podlahy

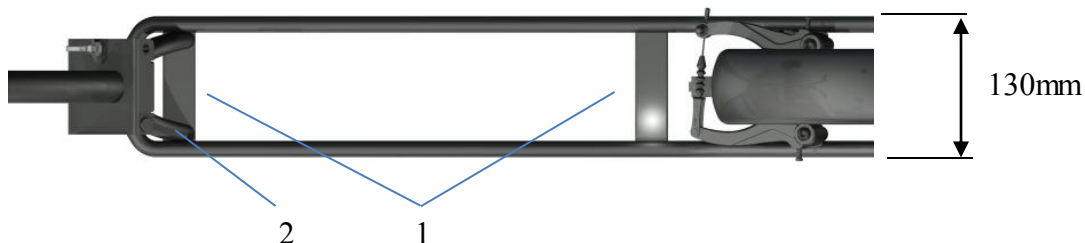
Hlavní nosný profil vedoucí k řídítkům (obr. 3.1, bod 3; obr. 3.4) je také z oválného profilu (50x30x1,5mm) a je použito stejného kloubového systému překlápění do strany, jako u ostatních modelů MIBO. (obr. 3.4)



Obr. 3.4 – Spojení kloubu, hlavního nosného profilu k řídítkům a kloubových vzpěr

Byly použity příčné vzpěry obdélníkových profilů (30x15x1,5mm) (obr. 3.5, bod 1), a to především z důvodu rozměrové dostupnosti. Vzpěry pomáhají držet tvar podlahy a zadní vzpěra zabraňuje kroucení podlahy od axiálních sil zadního kola (např. v zatáčce).

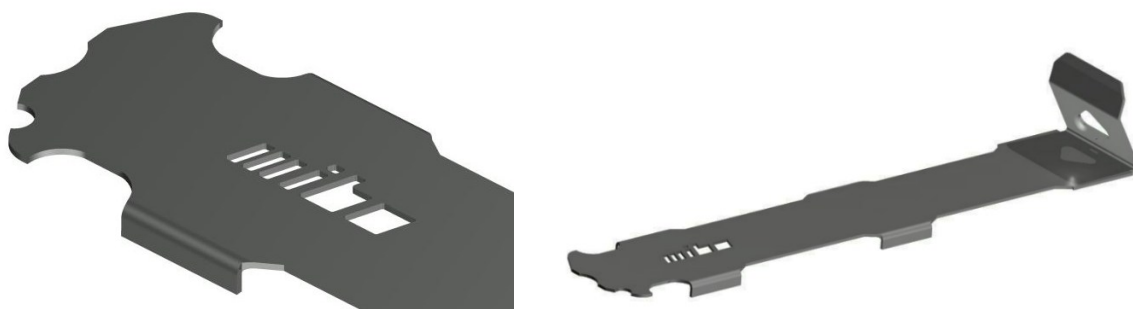
Na přední vzpěru jsou navařeny kloubové vzpěry (**obr. 3.5**, bod 2) (rozměry průřezu totožné s profilem podlahy) vedoucí ke kloubu – jednak z důvodu boční stability a také z designového hlediska. Konstantní šířka podlahy také přispívá komfortu při jízdě a dává více prostoru pro stání. (**obr. 3.5**)



**Obr. 3.5** – Pohled shora bez plechu podlahy

## Podlaha

Jako prvek pro stání slouží plech ( $t=2,5\text{mm}$ ), který je vyřezán pomocí laseru na CNC stroji a je po stranách ohnutý (**obr. 3.6**). Dosedá na vzpěry, je přivařen k profilům podlahy, vzpěrám, kloubovým vzpěrám a nosnému profilu k řídítkům. Díky ohybům po stranách získává mnohem vyšší tuhost při zatížení podlahy jezdce. Vybrání po stranách jsou jednak z konstrukčního hlediska pro ohyby, také ale z funkčního (odvod vody, odlehčení) a kvůli designu. Zadní plech, kryjící brzdu a na který je připevněn blatník, jsme schopni díky technologii ohýbání vytvořit z jednoho dílu a zjednodušit tak konstrukci.



**Obr. 3.6** – Hlavní plech podlahy

## Vedení brzdného lanka

U většiny rámu MIBO je lanko k zadní brzdě vedeno skrze nosný profil v podlaze. Zde jsem volil způsob vedení pod podlahou – bovden bude od brzdy sveden po předním profilu, pod kloubem, přes vybrání v podlaze a skrze vzpěry k zadní brzdě. Uchycen bude na vyznačených místech v navařených trubičkách. (obr. 3.7)



Obr. 3.7 – Vedení brzdného lanka

## Skladnost

Kloub je umístěn pod úhlem  $55^\circ$  k podlaze a složení koloběžky je na stejném principu, jako u modelu MIBO Mastr Classic. Ve složeném stavu má koloběžka rozměry 1100x550x200mm (velmi obdobné jako u Mastr Classic). (obr. 3.8)



Obr. 3.8 – Nově navržený rám ve složeném stavu

Při použití principu skládání jako koloběžky Micro (viz obr. 2.16), s nutností úpravy kloubu a některých délkových rozměrů, je výsledek tento:



**Obr. 3.9** – Nově navržený rám při skládání stylu Micro

Tento styl je sice šířkově úspornější (pouze 130mm), jelikož nevrství rám přes sebe, avšak při komplexním rozměrovém pohledu není tak vhodný, jako současné překlápění.

### Použité nakupované díly

Pro zachování jednotnosti sortimentu jsou použité nakupované díly stejné, jako u ostatních modelů. Dodávaný set řídítek, brzd, kol, blatníků, ložisek, nábojů a hlavových uložení je totožný s modelem MIBO Mastr Classic. (viz **Tab 2.1**) [1]

## 3.3 MKP analýza

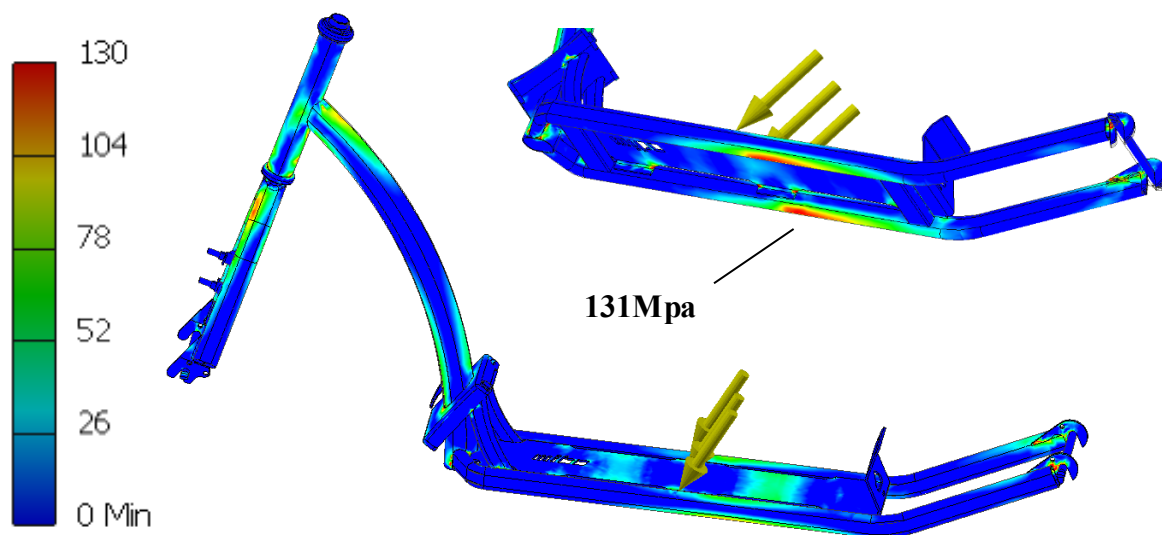
### Okrajové podmínky

Nově navržený rám jsem podrobil MKP analýze s totožnými okrajovými podmínkami, jako u rámu MIBO Mastr Classic (viz kap. 2.2, MKP Analýza). Stejně jako u analýzy rámu Mastr Classic jsem odstranil ostatní komponenty a ponechal pouze rám koloběžky. Po usazení na zadní pevný čep a přední posuvný jsem provedl analýzu rámu se zatížením  $F=3000\text{N}$  ( $\sim 300\text{kg}$ ).

## Výsledky

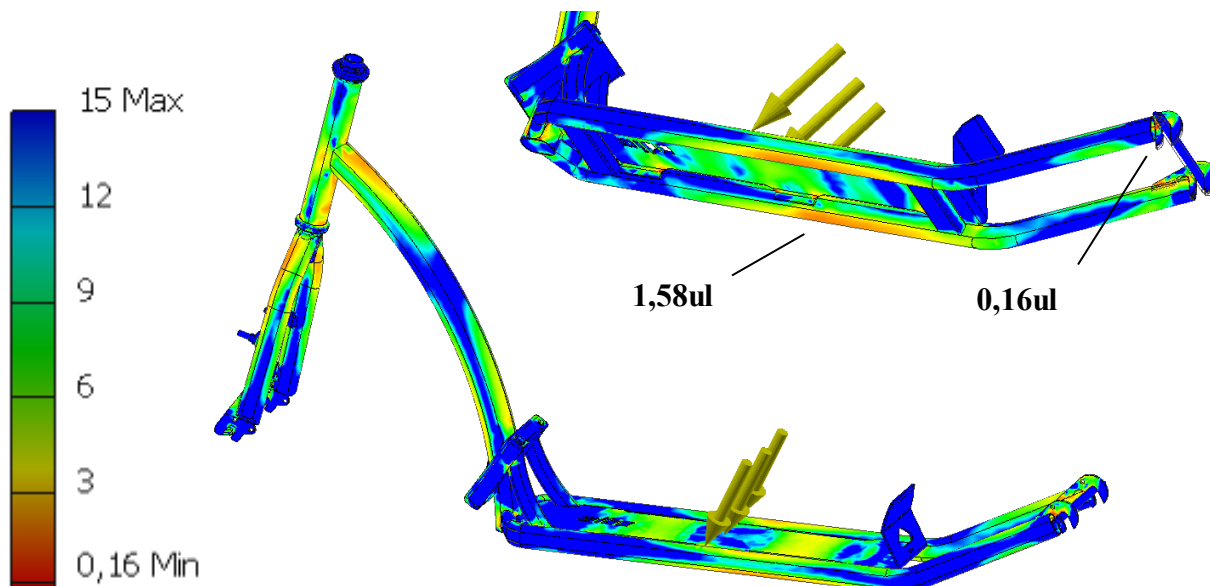
### Redukované Napětí

Pro lepší názornost byla barevná stupnice zatížení snížena na 130MPa.



**Obr. 3.10** – Průběh redukovaného napětí

### Výsledná bezpečnost



**Obr. 3.11** – Výsledná bezpečnost

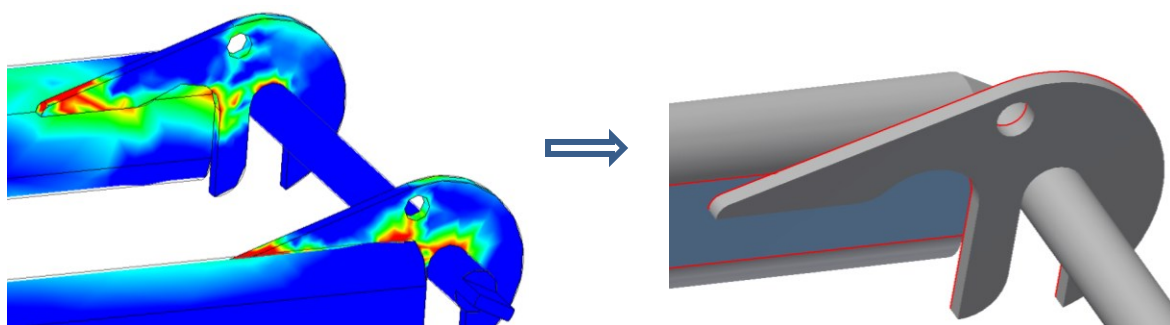
### Posunutí

V místě maximálního průhybu podlahy je posunutí plechu pro stání 2,73mm a oválného profilu podlahy 2,42mm.



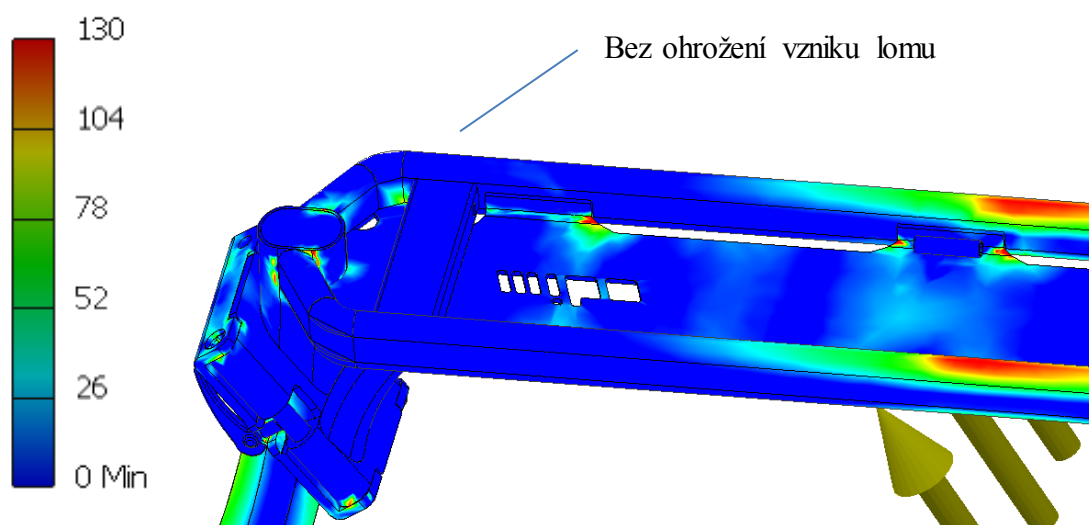
### 3.4 Kritické uzly

Jedním z kritických uzlů je dle analýzy uchycení zadního čepu, kde vzniká napětí v průměru kolem 200MPa. Nicméně zde vzniká chyba z důvodu nepřítomnosti svarových spojů a použité kontaktní vazby – jedná se o vazbu hrany plechu na plochy nosníku podlahy. Pro přesnější výpočet jsem posunul plech níže a reálné svarové spoje nahradil vazbou plochy na plochu (**obr. 3.12**). Nový výpočet prokázal výsledek 68MPa a bezpečnost 3,2.



**Obr. 3.12** – Oprava kritického místa pro analýzu

Kritickým místem v současném modelu MIBO Mastr Classic byl navazující spoj podlahy s profilem ke kloubu. S nynějším konceptem řešení tento problém nevzniká a podlaha je v přední části velmi tuhá i přes nepřítomnost svarových spojů při výpočtu:



**Obr. 3.13** – Průběh redukovaného napětí v přední části podlahy



### 3.5 Zhodnocení výsledků MKP analýzy

Provedl jsem kontrolu nově navrženého rámu pomocí MKP analýzy v Autodesk Inventoru 2013. Z výsledků průběhů napětí v jednotlivých částech rámu jsem schopen poukázat na místa s největším napětím. V tomto případě se jedná o nosníky podlahy, jelikož hlavní zatížení působí právě v tomto místě. Vzhledem k definovanému zatížení  $F=3000\text{N}$  ( $\sim 300\text{kg}$ ), což je 200% hodnota garantované nosnosti koloběžky, bylo dosaženo maximálního napětí v podlaze  $T=131\text{MPa}$ . Bezpečnost v tomto místě vyšla  $k=1,58$ .

V porovnání k analýze zatížení rámu Mastr Classic jsou výsledky sice vyšší (napětí v rámu podlahy Mastr Classic při zatížení  $F=3000\text{N}$  je přibližně  $55\text{MPa}$ , v nově navrženém  $131\text{MPa}$ ), nicméně se stále pohybují v mezích bezpečnosti  $k>1$  a celý rám je přetížen o 100% silou  $F=3000\text{N}$ , ačkoliv garantovaná maximální nosnost dle výrobce je  $n=150\text{kg}$  ( $\sim 1500\text{N}$ ).

### Porovnání nového návrhu k modelu Mastr Classic

Při komplexním zhodnocení nově navrženého vlastního řešení v porovnání k současnému modelu MIBO Mastr Classic jsem došel k tomuto závěru:

V parametrech pevnosti vycházejí oba rámy obdobně s menšími rozdíly. Nový rám má lehce vyšší napětí v profilech podlahy, nicméně má výhodu jednotnosti ohýbaného profilu podlahy, čímž nevznikají další vrubová místa v oblastech svarů současného řešení. Koncepcí a vhodným použitím vzpěr také nevzniká kritické místo, řešené v kapitole 2.1. Použitím výpalku, jako jednolitého prvku ke stání, docílíme zjednodušení konstrukce zadní části rámu – odpadáva nám nutnost spojovat tři komponenty v jednom svaru (obdélníkový profil podlahy, oválný profil zadní vidlice a plech pro brzdu a blatník sloužící jako vzpěra).

Při porovnání rozměrů v provozním stavu je nový rám delší ( $l=1480\text{mm}$ , stávající  $l=1300\text{mm}$ ) a ve stavu složeném jsou rozměry obdobné ( $1100\times 550\times 200\text{mm}$  nový,  $1050\times 500\times 250\text{mm}$  stávající). Váhově jsou na tom oba rámy taktéž velice podobně – nový  $9,4\text{kg}$  a stávající  $9\text{kg}$ .

Oba návrhy využívají stejných nakupovaných dílů, což je činí velice podobnými a hlavně také univerzálními. V čem je nový návrh inovativní, je především designový koncept a snaha o minimalizaci vrubových míst na namáhaných profilech. Použití jednoduchých prvků (ať už pro podlahu, tak pro plech ke stání) může být inspirací pro další nové návrhy. Při výrobě nového rámu bude potřeba více dílů připravovat externě. Společnost MIBO prozatím nedisponuje ohýbacími stroji pro plechy, ani oválné profily v tomto dosahu. Nicméně samotná kompletace dílů bude rychlejší a vynaložené náklady na externí výrobu se sníží o náklady za ušetřený čas.

## 4. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo přiblížit problematiku sportovních koloběžek se zaměřením na optimalizaci vybraného stávajícího modelu a vytvoření vlastního návrhu konstrukčního řešení.

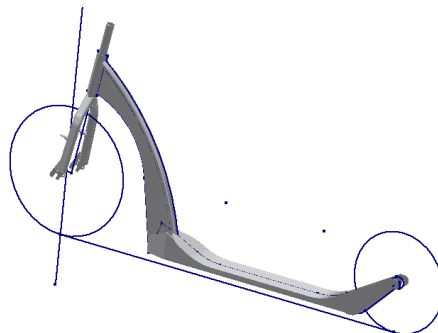
V úvodních kapitolách jsem zběžně nastínil historii, kterou mají tyto stroje za sebou, směry, kterými se tento trend ubírá a konstrukční řešení jednotlivých kategorií sportovních koloběžek.

V oblasti optimalizace jsem se zaměřil na model MIBO Mastr Classic, jež je skládací volnočasová koloběžka společnosti MIBO Scooters s.r.o. Srovnal jsem její parametry s konkurenčními modely podobné cenové i konstrukční kategorie. Také jsem analyzoval a navrhl řešení kritického místa, ve kterém v minulosti došlo ke zlomení podlahy. Dále jsem zvážil možnosti změny, či úpravy metody skládání a snížení hmotnosti. Ze zjištěných výsledků jsem doporučil zachování stávajících profilů a jejich tloušťek, změnu materiálu pouze při změně konstrukce a určení koloběžky. Uvedeno je i doporučení používat nadále nynější model skládání, jelikož je prostorově nejvhodnější.

Při návrhu vlastního rámu jsem vycházel z ověřené konstrukce a inspiroval jsem se konkurenčními modely a jejich řešením. Hlavní inovací u nového rámu je použití oválných profilů v hlavních komponentech rámu a intenzivní využití ohýbání při výrobě. Tato technologie mi umožnila vytvořit sportovní design a jednoduché díly, které se nemusí svařovat v namáhaných místech. Rám byl zátěžově zkontrolován a jsou přiloženy výkresy sestavení a svařence. Při práci na novém návrhu jsem zvažoval spousty dalších alternativních řešení. Pro zmínku můžu uvést pevný koncept rámu ve stejném designovém ladění (**obr. 4.1**) a také velmi odlišný pohled na věc skrze ohýbaný model rámu z duralových plechů, vhodný hlavně pro závodní koloběžky (**obr. 4.2**).



**Obr. 4.1** – Pevný rám



**Obr. 4.2** – Návrh závodní koloběžky

## **Seznam použité literatury**

- [1] *Koloběžky MIBO, koloběžky pro každého* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.mibo.cz/>
- [2] *Koloběžky KOSTKA – koloběžka pro dospělé i děti* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://cz.kostka-kolobka.eu/>
- [3] *Skládací koloběžky a odrážedla MICRO* [online]. [2013] [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.micro-kolobezky.cz/>
- [4] *Koloběžky pro dospělé* [online]. © 2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.kolobezky-pro-dospele.cz/>
- [5] *Kickbike.com* [online]. © 2013 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://kickbike.com/>
- [6] *IKSA - International Kised & Scooter Association* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.iksaworld.com/>
- [7] Kick Scooter. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10 May 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Kick\\_scooter](http://en.wikipedia.org/wiki/Kick_scooter)
- [8] Skládací jízdní kolo RANK Regalia - model 2012. SEVEN SPORT S.R.O. *Insportline* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.insportline.cz/3996/skladaci-jizdni-kolo-rank-regalia-model-2012?n=Sk%C3%A1dac%C3%AD%20j%C3%ADzdn%C3%AD%20kolo%20RANK%20Regalia%20-%20model%202012>
- [9] *Hliníkové profily, hliníkové plechy* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/>

- [10] *Ferona - Velkoobchod s hutním materiálem* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [11] PILÁT, Dan a Jitka SLAVÍČKOVÁ. *Koloběžka - sto let historie* [online]. 2011 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.yedoo.eu/cz/clanek/kolobezka-sto-let-historie.aspx>
- [12] *History Of Skateboarding* [online]. 5.5.2011 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.crazyskateboardinggames.com/history-of-skateboarding.html>
- [13] *Sjezd na profi koloběžkách* [online]. 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.kolobezky.eu/uvod/cz>
- [14] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8
- [15] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 128 s. ISBN 978-80-248-1860-3
- [16] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-722-5018-3
- [17] MORAVEC, Vladimír a Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů: spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64, 5 s. ISBN 978-80-248-0878-9
- [18] NĚMČEK, Miloš a Jiří HAVLÍK. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8
- [19] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003, xv, 865 s. ISBN 80-864-9074-2
- [20] Husky Mushing. *Pawtrekker.com* [online]. [2013] [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.pawtrekker.com/images/pawtrekker-dog-scooter-husky-mushing.jpg>

[21] Metoda konečných prvků. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_kone%C4%8Dn%C3%BDch\\_prvk%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF)

## **Seznam obrázků**

- Obr. 1.1 – První koloběžky [12]  
Obr. 1.2 – Novější model s malými koly [11]  
Obr. 1.3 – Footbike World Championship [6]  
Obr. 1.4 – Stunt Scooter [3]  
Obr. 1.5 – Dětská koloběžka a koloběžka se třemi koly [3]  
Obr. 1.6 – Turistická koloběžka KOSTKA HILL [2]  
Obr. 1.7 – Terénní koloběžka MIBO Dextro [1]  
Obr. 1.8 – Silniční koloběžka KICK BIKE Race Max 20 [6]  
Obr. 1.9 – Koloběžka Kostka Mushing Max [2]  
Obr. 1.10 – Mushing v akci [20]  
Obr. 2.1 – MIBO Mastr Classic [1]  
Obr. 2.2 – MIBO Mastr Classic složený [1]  
Obr. 2.3 – Kostka REBEL FOLD [2]  
Obr. 2.4 – Kostka REBEL FOLD složený [2]  
Obr. 2.5 – Kritické místo vzniku lomu podlahy  
Obr. 2.6 – Vidlice, přední část, spodní část MIBO Mastr Classic  
Obr. 2.7 – Celková sestava rámu  
Obr. 2.8 – Zjednodušená sestava  
Obr. 2.9 – Kontaktní vazby s detaily  
Obr. 2.10 – Použité kontakty „Separation“  
Obr. 2.11 – Zatížení rámu při MKP analýze  
Obr. 2.12 – Výsledné redukované napětí  
Obr. 2.13 – Detail na kritické místo  
Obr. 2.14 – Konstrukční úprava profilu  
Obr. 2.13 – Redukované napětí v kritickém místě po konstrukční úpravě  
Obr. 2.15 – Kostka REBEL FOLD a detail na kloub skládání [2]  
Obr. 2.16 – MICRO White a složená verze [3]  
Obr. 2.17 – MIBO Mastr Classic a složená verze [1]  
Obr. 2.18 – MIBO Mastr Classic – detail kloubu skládání  
Obr. 2.19 – MIBO Mastr Classic při teoretickém složení stylu MICRO  
Obr. 2.20 – Skládací kolo RANK Regalia model 2012 a složená verze [8]  
Obr. 3.1 – Návrh vlastního konstrukčního řešení

Obr. 3.2 – Světlost nášlapu

Obr. 3.3 – Nosný profil podlahy

Obr. 3.5 – Pohled shora bez plechu podlahy

Obr. 3.6 – Hlavní plech podlahy

Obr. 3.7 – Vedení brzdného lanka

Obr. 3.8 – Nově navržený rám ve složeném stavu

Obr. 3.9 – Nově navržený rám při skládání stylu Micro

Obr. 3.10 – Průběh redukováného napětí

Obr. 3.11 – Výsledná bezpečnost

Obr. 3.12 – Oprava kritického místa pro analýzu

Obr. 3.13 – Průběh redukováného napětí v přední části podlahy

Obr. 4.1 – Pevný rám

Obr. 4.2 – Návrh závodní koloběžky



## **Seznam tabulek**

Tab. 2.1 – Technické parametry MIBO Mastr Classic [1]

Tab. 2.2 – Technické parametry Kostra REBEL FOLD [2]

Tab. 2.3 a 2.4 – Porovnání obdélníkových profilů z duralu a z oceli [cena/hmotnost]  
[9], [10]

## **Přílohy**

### **Výkresová dokumentace**

BP-PET0087-S01

Koloběžka (hlavní sestava)

BP-PET0087-S02

Rám – svařenec (sestava svařence)